

[31] 加振セメントペーストを用いたコンクリートの諸特性について

川崎 健次 (鶴岡池組技術研究所)

正会員 ○川 上 正 史 (同 上)

1. まえがき

混練りしたコンクリートに再振動を加えると強度が増大するという事実については既に報告されている¹⁾が、予め振動を加えたセメントペーストを骨材と混合して得られたコンクリートの諸特性についての報告は見当たらないように思われる。筆者らは以前より省資源、省エネルギーの観点から、配合諸元を変えずにコンクリートの強度増加を計る方法について研究を続けた結果、予め振動を加えたセメントペースト(以後、Vibrated Cement Pasteの頭文字をとってVCPと呼ぶ)を用いたコンクリート(以後、VCPコンクリートと呼ぶ)の圧縮強度を含めた諸特性が、通常の方法で混練りしたコンクリートのそれらに比較して極めて優れていることを発見した。

本論文は、筆者らによって明らかにされたVCPコンクリートの諸特性についてのべ、その強度増大の機構をも推論しようとしたものである。

2. 実験の概要

本実験の方法を詳細にのべると極めて複雑になるので、以下にその概要をのべる。VCPコンクリートの実験計画を立てるための予備実験において、実験に用いた配合水量の一部を予め設計量のセメントと混合したのちにこれに振動を加え、そのあとで残りの水を加えて混合攪拌することによって得られたセメントペーストは、従来のように最初から設計量の水と混合攪拌して得られるセメントペーストとは全く異なる物性を示すことが分った。また、これらの物性は加振時の初期添加水量によっても大きく相違した。この結果をもとにしてVCPを用いたモルタル(以後、VCPモルタルと呼ぶ)について圧縮試験等の実験を行ない、ついでこの結果を参考にしてVCPコンクリートの諸特性の解明と強度増大の理由を、その応力-ひずみ関係および内部組織の観察から明らかにしようと試みた。

実験には市販の普通ポルトランドセメントと、徳島県吉野川産の川砂および最大寸法20mmの川砂利を用いた。これらの材料を用いたVCPの練り上り時のW/Cは0.55で、VCPモルタルの練り上り時の配合は1:2.5、W/C=0.55である。また、VCPコンクリートの練り上り時の配合はVCPのセメントマトリックスおよびVCPモルタルのモルタルマトリックスと同じくし、1:2.5:3.0、W/C=0.55である。

VCP試料を作製する時の基準セメント量は1.0kgとし、これにW/C=0.55以下の範囲内の適当量の水を加えて混練りした後、棒状バイブレーター(φ38mm、8000r.p.m.)を用いて一定時間振動を与え、これに残りの水を加えてよく混練りすることによって作製した。さらに、このVCPに砂を加えてVCPモルタルを、また砂と砂利を加えることによってVCPコンクリートを作製した。実験に用いたVCPモルタル供試体の形状・寸法はφ5×10cmの円柱とし、VCPコンクリートには6×6×12cmの角柱供試体を用いた。また、VCPコンクリートについてはこのほかにφ10×20cmのコア供試体をも用意した。図1はコア供試体用のコンクリートブロックの形状・寸法と、供試体の切り出し位置を示し

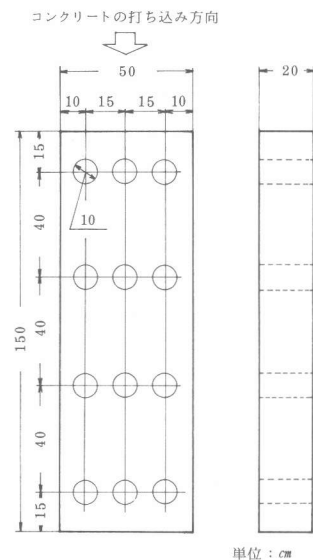


図1. コア供試体用コンクリートブロックの形状とその切り出し位置

たもので、コンクリートの打ち込み方向は図に示すように鉛直方向である。

なお、これらのVCP、VCPモルタルおよびVCPコンクリートと比較する意味で、通常の手順で練った同類の試料および供試体（以後、普通のセメントペースト、普通のモルタルおよび普通のコンクリートと呼ぶ）を作製し、実験に供した。

3. 実験の結果と考察

(1) 加振時の水セメント比と液状化の関係

水を加えて団子状に混練りしたセメントにパイプレーターをかける場合、初期添加水量が一定値を超えると団子状のセメントが振動によって、一時的に液状化する現象を示す。この液状化を示すW/Cの最小値は本実験の場合、 $W/C = 0.237$ であったが、作業性を考慮すると $W/C = 0.25$ 以上が適当であると考えられたので、以後の実験には加振時のW/Cとして0.25以上を用いた。

(2) VCPの粘度

図2は縦軸に回転粘度を、横軸に最終的に $W/C = 0.55$ としたセメントペーストの加振時のW/Cをとって両者の関係を示したものである。この図によると、最初の $W/C = 0.25$ で粘度は最も大きく、0.35まで急激な減少が認められる。また、0.45以上のW/Cに対しては殆ど一定の粘度になるようである。この現象は、0.25の場合、加振時にその団粒構造が破壊され、表面積の増大したセメント粒子に混練水の一部分が吸着されたためにその粘度が上がったものと推定されるが、初期添加水量が増加すると振動効果が低下し、団粒状のセメント粒子が容易に分散しなくなるので、0.35以上のW/Cでは粘度が著しく小さくなったものと考えられる。すなわち、加振時の $W/C = 0.25$ の場合には、多量の水分がセメント粒子表面に吸着されているものと想像されるので、ブリージングが少なく、分離しないコンクリートの作製が可能であると考えられ、以後、加振時の $W/C = 0.25$ として実験を進めていった。

(3) VCPのブリージング特性

(2)でのべたように、加振時のW/Cを0.25とした場合にその粘度を最も大きくすることが出来たので、今度はメスシリンダーを用いて練り上り後6時間のセメントペーストのブリージングを調べてみた。写真1はその時の状況を示したもので(a)が $W/C = 0.25$ で3分間加振したペーストに水を加えて、 $W/C = 0.55$ としたVCPである。また、(b)は通常の混練り方法で作った $W/C = 0.55$ の普通のセメントペーストである。この写真から明らかなように、VCPのブリージングは普通のセメントペーストのそれに比較して極めて少ないことが分る。

(4) VCPモルタルの圧縮強度

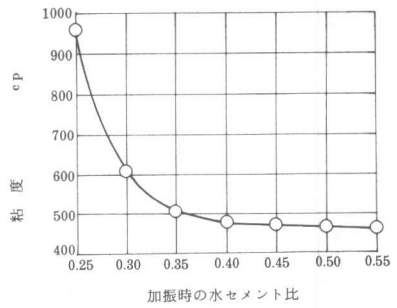
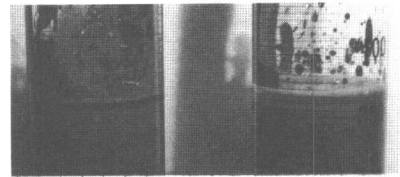


図2. 練り上り時の $W/C = 0.55$ のVCPの粘度と加振時の水セメント比の関係



(a) VCP (b) 普通のセメントペースト

写真1. ブリージングの状況

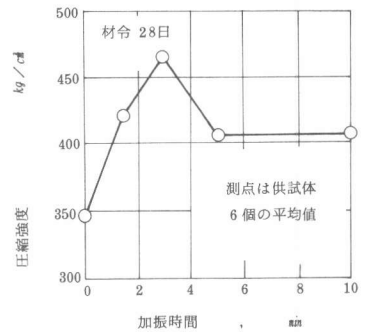


図3. モルタルの圧縮強度と加振時間の関係

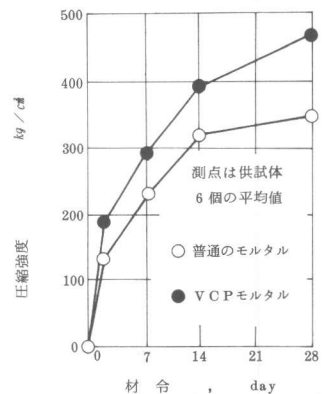


図4. 圧縮強度と材令の関係

加振時の $W/C = 0.25$ で作製し、材令28日まで水中養生したモルタルの圧縮強度を縦軸にとり、加振時間を横軸にとって両者の関係を示すと図3のようになる。この図によると加振時間が3分の点で圧縮強度はピークを示している。この点におけるVCPモルタルの圧縮強度は 467 kg/cm^2 であり、一方比較のための普通モルタルのそれは 346 kg/cm^2 である。VCPモルタルは普通のモルタルに比べ、35%の強度増加を示している。また、図4は普通のモルタル並びに、加振時の $W/C = 0.25$ 、加振時間3分とした場合のVCPモルタルの圧縮強度と材令の関係を示したものである。この図から分るように、VCP

モルタルは普通のモルタルに比較して、初期材令から強度が高く、また普通のモルタルが材令14日以降においては強度増加の割合が減少しているのに対して、VCPモルタルは材令14日以降も強度の増加割合が大きく、材令28日以降の長期材令における高強度が予想される。

(5) VCPコンクリートコアの密度および圧縮強度

以上の結果と考察から、VCPを用いたコンクリートはブリージングが少なく、分離に対する抵抗性の大きい高強度なものが予想される。そこで、現場打設コンクリートを想定した図1に示すコンクリートブロックを作製し、コアを切り出して密度および圧縮強度を調べた。なお、VCPコンクリートブロック作製には、予めセメントを 1.0 kg ずつに分割し、それぞれ3分間加振したセメントペーストを用いた。また、コアは打設後、材令25~27日で切り出し、材令28日で実験に供した。図5は打設面からの深さと密度の関係を示したものであるが、普通のコンクリートコアに比較して、VCPコンクリートコアの密度は深さに関係なくほぼ一定しており、分離に対する抵抗性が大きいことが分る。また、図6は深さと圧縮強度の関係であるが、VCPコンクリートコアの強度は普通のコンクリートコアのそれに比べて10~30%程度大きな値を示している。

(6) VCPコンクリートの応力とひずみの関係

VCPコンクリートと普通のコンクリートの変形特性を調べるため、材令3か月の角柱供試体を用いて両者の

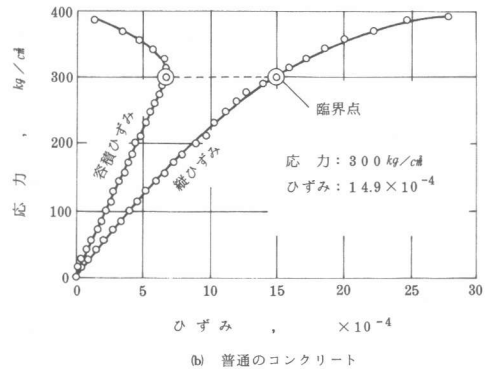
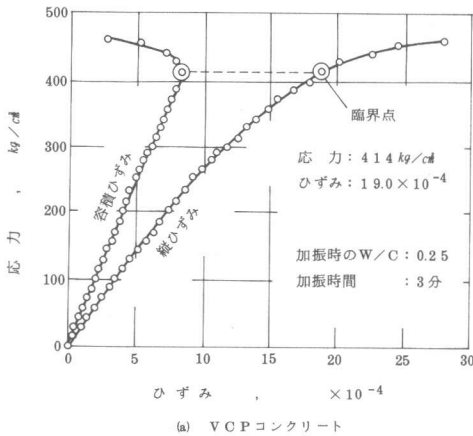


図7. 応力とひずみの関係

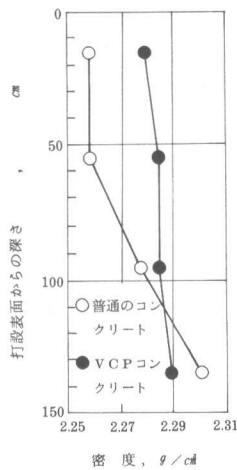


図5. 深さと密度の関係

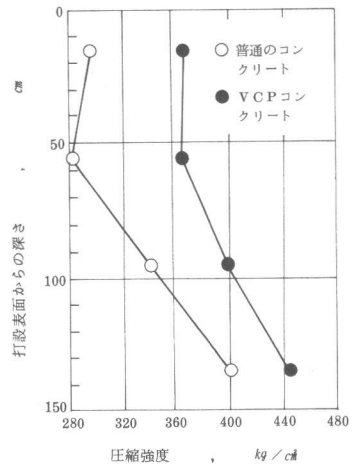


図6. 深さと圧縮強度の関係

応力とひずみの関係を調べてみた。図7がその結果で(a)がVCPコンクリート、(b)が普通のコンクリートの応力とひずみの関係である。なお、これらの曲線はそれぞれ8本ずつの供試体のうち、最も平均値に近いものから選んだものである。

さて、容積ひずみから見たコンクリートの事実上の破壊点²⁾、いわゆる臨界点(critical point)における応力は、

普通のコンクリート	300 kg/cm ²	(縦ひずみ 14.9 × 10 ⁻⁴)
VCPコンクリート	414 kg/cm ²	(縦ひずみ 19.0 × 10 ⁻⁴)

となり、VCPコンクリートの臨界点における応力は普通のコンクリートのその1.38倍の値を示している。

(7) VCPコンクリートの強度発現機構

いままでのべてきたVCP、VCPモルタルおよびVCPコンクリートの諸特性を検討してゆくと、その強度発現の機構として次のような考え方がでてくる。

セメントに適当量の水を加え、振動を与えると、ある条件下で今まで団粒構造化していたセメント粒子の結合が破壊され、セメント粒子表面に多量の水が吸着される。この結果として、ブリージングが極めて少なく、分離に対する抵抗力の大きなコンクリートを得ることができた。このように考えてゆくと、VCPコンクリートはペーストに振動を加えることによって、そのセメントマトリックスが変化し、その影響が硬化後のモルタルマトリックスの強化につながって、VCPコンクリートの強度の増大を導いたと考えることもできる。

図8はセメントマトリックス中に発生した微細なボイド状ペーストクラック²⁾の発達と履歴ひずみの関係を、普通のコンクリートとVCPコンクリートについて示したものである。この図によると、VCPコンクリートのペーストクラックの発達は普通のコンクリートのそれに比較すると著しく小さく、上にのべた推論を裏付けているように思われる。

写真2の(a)および(b)は、それぞれVCPコンクリートおよび普通のコンクリートを走査型電子顕微鏡(SEM)で撮影した×1600の写真である。これらの写真を比較すると、VCPコンクリートのセメントマトリックスが普通のコンクリートのそれに比較して、極めて緻密であることが観察できる。

4. 結 論

本実験から得られた結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) VCPは普通のセメントペーストに比較して粘度が高く、ブリージングが少なく、またVCPを使用したコンクリートは分離に対する抵抗力が非常に大きいことが分った。
- (2) VCPコンクリートの圧縮特性は普通のコンクリートに比較して極めて優れていると考えられる。
- (3) VCPコンクリートの強度増大の原因はモルタルマトリックスが強固になったためと考えられる。

参考文献

- 1) 吉本, 白上, セメントコンクリート, No.365, July, 1977, pp. 8~14.
- 2) A. Yoshimoto, K. Kawasaki, M. Kawakami, Proc. 19th Jap. Cong. on Mat. Res., 1976, pp. 126~131.

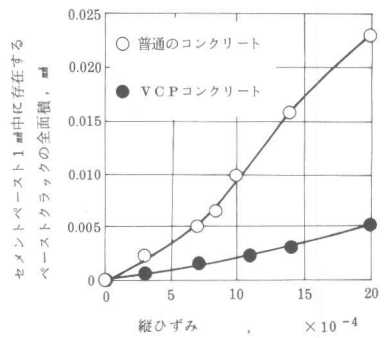
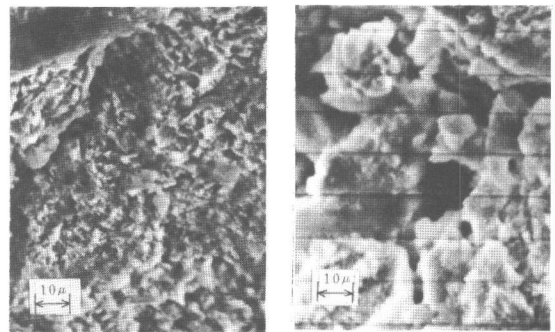


図8. ペーストクラックと縦ひずみの関係



(a) VCPコンクリート

(b) 普通のコンクリート

写真2. セメントマトリックスのSEM像